Información General del Semillero de Investigación	
Facultad: **Ciencias Naturales e Ingeniería FCNI**	
Programa académico: **Ingeniería de Telecomunicaciones**	Grupo(s) de Investigación: **GNET**
Nombre del semillero – Siglas **Semillero de investigación en Sistemas de Telecomunicaciones - SISTEL**	
Líneas de Investigación: **Programación en sistemas de comunicaciones**	

Áreas del saber *

	1. Agronomía veterinaria y afines		5. Ciencias sociales y humanas
	2. Bellas artes		6. Economía, administración, contaduría y afines
	3. Ciencias de la educación		7. Matemáticas y ciencias naturales
	4. Ciencias de la salud	x	8. Ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines

Al diligenciar este documento autorizo a UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, ubicada en Calle de los Estudiantes 9-82 Ciudadela Real de Minas y con teléfono de contacto 6076917700, para que recolecte, almacene, use, circule y/o suprima mis datos personales. Lo anterior para dar cumplimiento a las finalidades incorporadas en la Política de Tratamiento de Información disponible en www.uts.edu.co, la cual declaro conocer y saber que en esta se especifican cuáles datos son sensibles. Así mismo, conozco que como titular me asisten los derechos a conocer, actualizar, rectificar y suprimir mis datos y revocar la autorización. Igualmente declaro que poseo autorización, de los otros titulares de datos que suministro, para que UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER les dé tratamiento conforme a las finalidades consignadas en la Política.

Información del Docente Líder

Nombre	Documento	Correo electrónico
Johan Leandro Téllez Garzón	1101753049	jtellez@correo.uts.edu.co

Información de los Autores

Nombre	Documento	Correo electrónico
Jhonson Danilo Barajas Paipa	1095954964	jdanilobarajas@uts.edu.co
Juan Pablo Mora Aguirre	1004923220	jpaguirre@uts.edu.co

Proyecto

1. Título del proyecto: Prototipo de antebrazo robótico de bajo costo controlado por visión artificial y monitoreado por un sistema telemétrico	MODALIDAD DEL PROYECTO **			
	PA	PI	TI	Otra. ¿Cuál?
			x	
	Fecha de terminación del proyecto:			17/02/2025

2. Resumen del trabajo:

Este proyecto abordó el desarrollo de un prototipo de antebrazo robótico de bajo costo, con el objetivo de establecer una base tecnológica para futuras investigaciones en prótesis accesibles. El sistema es controlado mediante visión artificial y monitoreado por un sistema telemétrico para validar su funcionamiento.

La metodología empleada fue de desarrollo tecnológico con un enfoque experimental. Se diseñó y fabricó la estructura mecánica mediante impresión 3D con filamento PLA. El sistema de control se implementó con un microcontrolador que acciona servomotores, los cuales reciben comandos de un software en Python que utiliza las librerías OpenCV y MediaPipe para el reconocimiento de gestos de la mano en tiempo real. Adicionalmente, se integró un sistema telemétrico para monitorear la temperatura y el voltaje, con almacenamiento y visualización de datos a través de una API y una base de datos.

Los resultados validaron la eficacia del prototipo: se alcanzó una precisión promedio del 96.25% en el reconocimiento de gestos, un indicador clave de fiabilidad que asegura una interacción intuitiva y con un bajo margen de error para el usuario. Esta métrica es altamente competitiva en comparación con sistemas similares reportados en la literatura académica. Adicionalmente, las pruebas de estrés, que simularon un uso continuo e intensivo, demostraron una excelente estabilidad térmica y eléctrica, confirmando que el diseño del hardware previene eficazmente sobrecalentamientos y caídas de voltaje críticas. Esto es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad a largo plazo de un dispositivo de asistencia.

Se concluye que es viable integrar tecnologías de código abierto para crear dispositivos de asistencia funcionales y que el método de control por visión artificial es una alternativa no invasiva y eficaz. El trabajo representa un punto de partida sólido para el desarrollo de tecnologías de asistencia más inclusivas y asequibles.

3. Objetivo general y objetivos específicos:

Desarrollar un prototipo de antebrazo robótico de bajo costo controlado mediante el uso de un sistema de captura de gestos basado en visión por computadora y monitoreado por un sistema telemétrico para la captura de datos de funcionamiento.

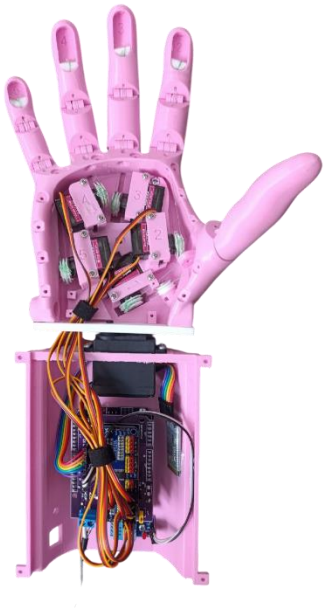
- Diseñar el prototipo de prótesis robótica de bajo costo que utilice visión artificial para el control de movimientos, integrando algoritmos de inteligencia artificial para el reconocimiento de gestos y patrones de movimiento.
- Integrar el prototipo de prótesis robótica con un sistema de control basado en visión artificial, midiendo su precisión, tiempo de respuesta.
- Implementar un sistema de monitoreo que permita la adquisición, almacenamiento en base de datos y visualización gráfica en tiempo real de los parámetros de telemetría (temperatura y voltaje) del prototipo.
- Validar el prototipo en un entorno de prueba, a fin de evaluar su funcionalidad y adaptabilidad aplicando criterios de evaluación de viabilidad de antebrazo robótico.

4. Análisis de resultados:

Prototipo Funcional Ensamblado

El primer resultado tangible del proyecto es la materialización de un prototipo de antebrazo robótico completamente ensamblado y funcional. La estructura, fabricada en su totalidad con filamento PLA mediante impresión 3D, demostró la rigidez y precisión necesarias para albergar los componentes electrónicos. El ensamblaje de los servomotores MG995 y los MG90S, el microcontrolador, la circuitería de alimentación y los sensores de telemetría se realizó con éxito sobre la placa PCB diseñada, logrando una integración limpia y robusta que minimiza las posibilidades de fallos por conexiones inestables. El sistema de tendones, implementado con seda de pescar, se calibró para proporcionar una transmisión de fuerza efectiva desde los servomotores hasta las falanges de los dedos (ver figura abajo).

Figura Prototipo final



Fuente: *Autor*

Resultados de las Pruebas de Control por Visión Artificial

Se diseñó y ejecutó una serie de pruebas para cuantificar el rendimiento del sistema de control, centrándose en la precisión del reconocimiento de gestos y el tiempo de respuesta del sistema.

Se evaluó la capacidad del sistema para clasificar correctamente cuatro gestos predefinidos: mano abierta, puño cerrado, gesto de señalar y gesto "OK". Cada gesto fue realizado 100 veces por un usuario en condiciones de iluminación controlada. Los resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. *Matriz de Precisión del Reconocimiento de Gestos*

Gesto	Intentos	Aciertos	Fallos	Precisión
Mano Abierta	100	98	2	98%
Puño Cerrado	100	96	4	96%
Gesto de Señalar	100	97	3	97%
Giro de muñeca	100	94	6	94%
Promedio General	400	385	15	96.25%

Fuente: Autor

Resultados del Sistema de Monitoreo Telemétrico

El sistema de telemetría fue validado mediante una prueba de estrés de 15 minutos de operación continua, donde el prototipo ejecutaba ciclos de abrir y cerrar la mano repetidamente.

- **Adquisición y Visualización de Datos:** El sistema funcionó según lo esperado. La base de datos recibió y almacenó correctamente en la base de datos los valores de temperatura y voltaje enviados por el microcontrolador cada 1 segundos. El dashboard de visualización mostró las gráficas actualizadas en tiempo real, permitiendo un monitoreo efectivo.
- **Comportamiento de la Temperatura:** la temperatura del microcontrolador y la entrada de alimentación se mantienen ligeramente por arriba de la temperatura ambiente a unos 31°C. Durante la prueba de estrés, la temperatura se incrementó de manera constante durante los primeros 10 minutos, para luego estabilizarse en un valor promedio de 33°C.
- **Comportamiento del Voltaje:** La línea de alimentación de los servomotores se mantuvo estable en un promedio de 5.33V durante toda la prueba. Se observaron caídas de voltaje mínimas y transitorias (hasta 5.31V) en los momentos de mayor demanda de corriente (al cerrar el puño, cuando todos los motores actúan simultáneamente), pero en ningún momento el voltaje descendió a niveles críticos que pudieran comprometer el funcionamiento del microcontrolador o los actuadores.

Análisis General y Validación Funcional

La validación del prototipo se realizó mediante un conjunto de pruebas funcionales diseñadas para verificar el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos del proyecto. El desempeño se evaluó contrastando los resultados obtenidos con los criterios de éxito definidos previamente, como se detalla a continuación:

Validación del Objetivo Específico 1 (Diseño e Integración de IA):

- **Criterio de Éxito:** Construir un prototipo mecánico funcional impreso en 3D que integrara de manera estable los componentes electrónicos y fuera capaz de ser controlado por un algoritmo de IA para el reconocimiento de gestos.
- **Procedimiento de Prueba:** Se realizó un ensamblaje completo del prototipo, verificando el ajuste de las piezas, el alojamiento de los servomotores y el sistema de tendones. Posteriormente, se ejecutó el software de visión artificial para confirmar la correcta detección de los landmarks de la mano y su traducción a comandos.
- **Resultado y Comparación:** El prototipo se ensambló con éxito, demostrando la viabilidad del diseño 3D. El software de control, utilizando la librería MediaPipe, logró identificar y procesar los gestos de forma consistente. Este resultado cumple satisfactoriamente con el primer objetivo.

Validación del Objetivo Específico 2 (Precisión y Tiempo de Respuesta):

- **Criterio de Éxito:** Alcanzar una precisión en el reconocimiento de gestos superior al 90% y un tiempo de respuesta (latencia) que permitiera un control fluido y en tiempo real.
- **Procedimiento de Prueba:** Se diseñó un experimento controlado, detallado en la sección 5.2, donde se realizaron 100 intentos por cada uno de los cuatro gestos predefinidos. La latencia se midió registrando el tiempo transcurrido desde la ejecución del gesto por el usuario hasta la respuesta completa del prototipo.
- **Resultado y Comparación:** Se obtuvo una precisión promedio del 96.25%, superando el umbral del 90%. La latencia promedio fue de 100 ms, un valor que, si bien es perceptible, se encuentra dentro de los rangos aceptables para el control no crítico en pruebas de concepto y permite una interacción fluida. Este resultado valida positivamente el segundo objetivo.

Validación del Objetivo Específico 3 (Implementación del Sistema de Monitoreo):

- **Criterio de Éxito:** Implementar un sistema capaz de adquirir, almacenar en una base de datos y visualizar en tiempo real los datos de temperatura y voltaje del prototipo.
- **Procedimiento de Prueba:** Se sometió al prototipo a una prueba de estrés de 15 minutos de operación continua. Durante este tiempo, se verificó la correcta inserción de datos en la base de datos MariaDB a intervalos de un segundo y la actualización de las gráficas en el dashboard de monitoreo.
- **Resultado y Comparación:** El sistema telemétrico funcionó de manera robusta durante toda la prueba, registrando sin pérdidas los datos de temperatura y voltaje y visualizándolos correctamente, tal como se describe en la sección 5.3. Este resultado confirma el cumplimiento del tercer objetivo.

Validación del Objetivo Específico 4 (Funcionalidad y Adaptabilidad General):

- **Criterio de Éxito:** Evaluar la funcionalidad general, la coordinación de los movimientos y la estabilidad del prototipo en un entorno de prueba.
- **Procedimiento de Prueba:** A través de la observación directa durante todas las pruebas, se evaluaron cualitativamente la fluidez de los movimientos, la robustez del ensamblaje y la repetibilidad de las acciones. Se verificó que el prototipo pudiera ejecutar secuencias de gestos de manera coordinada sin fallos mecánicos o reinicios del sistema.
- **Resultado y Comparación:** La integración de todos los subsistemas resultó en un prototipo funcionalmente coherente. Los movimientos de la mano robótica fueron fluidos y replicaron de forma clara y predecible los gestos del usuario. El sistema demostró ser estable y robusto, sin fallos críticos durante las pruebas. Este resultado valida el cuarto y último objetivo.

El análisis comparativo entre los objetivos planteados y los resultados obtenidos demuestra que el prototipo cumple con todos los criterios de éxito definidos, validando la viabilidad del concepto de un antebrazo robótico de bajo costo controlado por visión artificial y monitoreado telemétricamente.

.

5. Conclusiones:

El proyecto demostró que es viable construir un antebrazo robótico funcional usando tecnologías de bajo costo como impresión 3D y software libre. La combinación de un diseño mecánico personalizado, hardware accesible y un sistema de visión artificial basado en MediaPipe permitió crear un control por gestos preciso sin necesidad de sensores físicos.

La fabricación aditiva en PLA redujo costos y facilitó iteraciones de diseño, logrando una estructura liviana pero suficientemente resistente cuando se combina con servomotores de alto torque. Durante el desarrollo se superaron desafíos como la inestabilidad eléctrica mediante un sistema de alimentación aislado y se optimizó la transmisión por tendones gracias a un diseño modular.

La telemetría se volvió esencial para validar el desempeño del sistema, permitiendo monitorear variables críticas y anticipar fallos. Más allá del prototipo, el proyecto establece una metodología de desarrollo accesible, modular y documentada que abre camino a mejoras futuras como retroalimentación háptica o miniaturización.

Finalmente, el valor principal del trabajo radica en su potencial impacto social: demuestra una ruta realista para crear prótesis de muy bajo costo y basadas en tecnologías abiertas, contribuyendo a la inclusión y al acceso equitativo a soluciones de asistencia en comunidades vulnerables.

6. Recomendaciones:

Se propone mejorar el prototipo fortaleciendo tres áreas principales. Primero, abordar los desafíos detectados: facilitar la calibración de tendones con un mecanismo tensor dedicado, asegurar mayor estabilidad eléctrica mediante sistemas de alimentación aislados y continuar optimizando algoritmos y comunicación para reducir la latencia.

Segundo, explorar nuevas tecnologías que amplíen las capacidades del dispositivo, como incorporar sensores hápticos para brindar tacto, implementar control en lazo cerrado con retroalimentación de posición o sensores de flexión, y evaluar métodos de control híbridos combinando visión artificial con EMG.

Finalmente, se recomienda optimizar el diseño físico para hacerlo más ligero y robusto mediante nuevos materiales y servomotores más pequeños, así como dotarlo de autonomía energética integrando baterías recargables y sistemas de gestión de carga. Estas acciones permitirán un dispositivo más preciso, portátil y funcional.

7. Bibliografía:

- Bancomundial.org. (03 de 04 de 2023). Obtenido de Bancomundial.org: https://www.bancomundial.org/es/topic/disability

- colombia.unfpa.org. (2023). Obtenido de colombia.unfpa.org: https://colombia.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/3.4_discapacidad.pdf

- inci.gov.co. (05 de 05 de 2022). Obtenido de inci.gov.co: https://www.inci.gov.co/blog/la-discapacidad-en-colombia-segun-estadisticas-del-dane

- poligran.edu.co. (2018). Obtenido de poligran.edu.co: https://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/1613/tesis%20final%20aprobadaCamilo%20Diaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- revistas.unicatolica.edu.co. (2017). Obtenido de revistas.unicatolica.edu.co: https://revistas.unicatolica.edu.co/revista/index.php/LumGent/article/view/10/15

- upcommons.upc.edu. (2024). Obtenido de upcommons.upc.edu: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/413461/Dise%F1o%20mecanico%20de%20brazo%20robotico.pdf;jsessionid=180966DF4421FA88113BE376F869E6C8?sequence=1

- ups.edu.ec. (2022). Obtenido de ups.edu.ec: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22830/1/UPS-GT003846.pdf

- who.int. (07 de 03 de 2023). Obtenido de who.int: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health

- Brunete, A., & Segundo y Rebeca Herrero, P. S. (s/f). 1.5 Sistemas de control. Bookdown.org. Recuperado el 6 de agosto de 2025, de https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html

- DHT11 Módulo de sensor de temperatura y humedad con fabricantes y proveedores de LED China - Lista de precios - Kuongshun Electronic. (s/f). Szks-kuongshun.com. Recuperado el 6 de agosto de 2025, de https://www.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/dht11-temperature-and-humidity-sensor-module-with.html

- Fernández Aguilar, E. M. (2006, junio 1). ¿Cómo funciona una webcam? Muy Interesante. https://www.muyinteresante.com/curiosidades/12725.html

- Guía de tareas de reconocimiento de gestos. (s/f). Google AI for Developers. Recuperado el 6 de agosto de 2025, de https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/gesture_recognizer?hl=es-419

- LA ROBOTICA EN LA MECATRONICA. (s/f). LA MECANICA EN LA MECATRONICA. Recuperado el 6 de agosto de 2025, de https://la-mecanica-en-la-mecatronica-0.webnode.mx/la-robotica-en-la-mecatronica/.

8. Anexos:

Corresponde a las evidencias de realización y resultados de proyecto y a las herramientas desarrolladas y/o utilizadas en su ejecución.

*** Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)**
**** PA: Proyecto de Aula; PI: Proyecto Integrador; TI: Trabajo de Investigación**